

JMIA MONOCOQUE の特性と安全性について

今までのモノコックとは一味違う、UOVA（卵）のような
シンプルなモノコックの特徴と安全性についてのレポートです。

2009年11月10日



日本自動車レース工業会



日本自動車レース工業会

2009年11月10日
日本自動車レース工業会



今日のF1マシンの全てが採用しているのを見ても解るように、カーボン・コンポジット・モノコックが、現在のレーシングカーにとって唯一無二かつ必要不可欠な部品であることは疑う余地はありません。

軽量高剛性だけではなく、CFRPモノコックの出現によって、それまでしょっちゅう発生していた悲しい出来事も、すっかりと昔話になるほど安全性も高まりました。

この、いいことづくめのCFRPモノコックにも一つだけ大きな難点がありますが、それはとても価格が高いということです。

そのために、より高度な安全性が望まれる入門者用のフォーミュラなどにおいて、価格の高騰化を懸念してカーボン・コンポジットの使用を制限することが常態化しており、結果的に初心者には安全性の低いレーシングカーでレースに参加するしかないのが現状です。

誰もがCFRPモノコックの優位性を認めながらもレギュレーション上使用を制限されているのは、なるべく低価格で参入者を増やしたいレースの主催者やコンストラクターの思惑と、少しでも安い予算でレースに参加したい参加者の思惑が合致した結果ですが、要するに問題は価格です。


そこで童夢では、これらの入門用フォーミュラの安全性の向上を目指して、F4のアルミ・モノコックと同等の価格帯のカーボン・コンポジット・モノコックの開発に取り組むことを決意して研究を進めてきました。

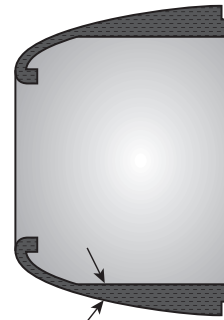
ヒントは数年前から始めた航空機用CFRP部品の開発から得た、製品の表裏両面を高精度に仕上げる技術です。



航空機用 CFRP 部品の開発ノウハウ

通通常のCFRP製品は、雌型から脱型した型に面する側は型どおりに高精度に仕上がりますが、反対側の裏面は凸凹しています。しかし、航空機用CFRP部品には、製品の内外両面に高度な機械的精度が要求されるケースが多く、航空機用CFRP部品の開発には、そのような部品を作るノウハウや技術が必要不可欠です。


童夢でも、航空機用CFRP部品に関連した開発に携わるうちにそれらの技術が身に付いてきましたが、は、まさにその技術あつての製造技術で作られています。

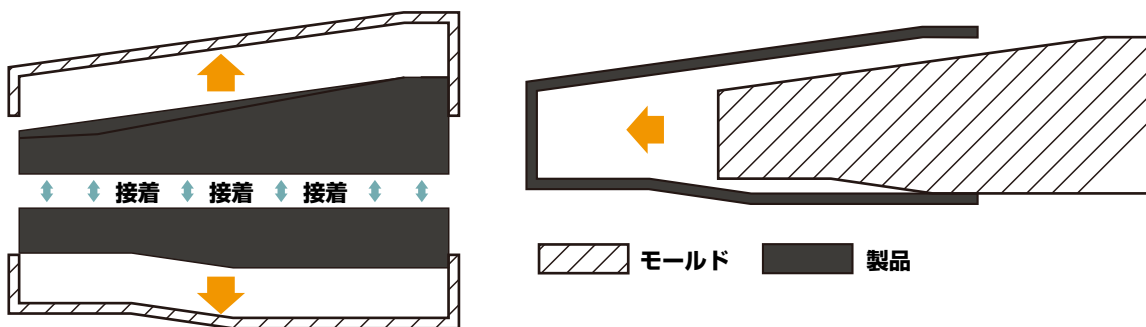


両面に精度が要求される

の構造と製法

通常のモノコックのコストアップの最大の要因は、2枚のCFRP板でハニカムをサンドイッチする構造やサスペンションのブラケットなどをインサートする複雑な工程と、それに要する時間工数やオートクレーブでの複数回にわたる成型回数や高価な副資材などに起因します

の場合、モールドにプリプレグを巻き付けていくだけのしごく単純な工程と、1回のオートクレーブ成型とわずかな副資材で製造することができるため、ハニカムを用いたモノコックの約20%の作業時間で製造できるようになりました。




これはF4用の製造用モールドですが、全体的に抜き勾配を持った形状で、外側にプリプレグを巻きつけて成型後、型を抜き取る製法のため、御覧のようにシンプルな形状となっています。

の特長

● 製造コストが安い

型も単純ですし作業工数費は半減しますが、ソリッド構造のためにプリプレグの使用量はかなり多くなりますので、トータルとしては、おおむね30~35%のコストダウンとなります。


F3 モノコック	350 万円	FCJ モノコック	200 万円
	140 万円	F4 アルミ・モノコック	135 万円

*標準的な価格帯を示しています。

● 欠陥品の判定が容易の特長

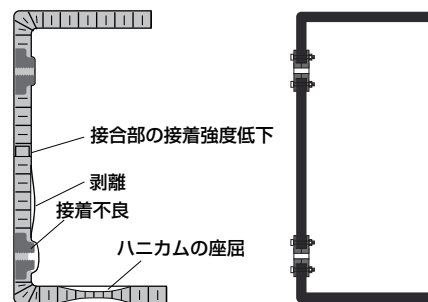
ハニカム構造の場合、完成状態では閉断面となりますので、ハニカムやインサート部品の接着状態は確認のしようがありませんが、ソリッド構造ではハニカムの剥離の心配は皆無ですし、ブラケットなどの部品はボルトオンなので常に確認可能です。

● 耐久性に優れる

主たるカーボン・コンポジット/ハニカム・モノコックの疲労の原因は、CFRP板とハニカム部分や上下2分割部分の接着力低下やブラケットなどのインサート金属部品の剥離などが原因ですが、はソリッド構造のためにこれらの心配は皆無です。あるとすればプリプレグの層間の剥離や樹脂の劣化による強度低下ですが、数十年の使用

を前提にした航空機と同等の製法と素材を採用しているので、それを心配していたら飛行機に乗れません。

これらの試験はFIAの基準に準拠したモノコックの試験としては一般的な方法で、20KN負荷後、変位が20mm以下とか、荷重の除去後、永久変形が1mm以下とかの細かい基準が定められています。




一般的なカーボン/ハニカムモノコック


● 剛性の調整が容易

モールドにプリプレグを巻き付けていく製法のために、巻き付ける量を調整することによって自由に剛性を変えられますから、かなり広範囲な用途に対応可能です。

● 高い汎用性

はソリッド構造のために、板面を挟み込むようにブラケット等を取り付けます。そのために取り付け位置の自由度が高く、改良などが容易になります。

● 高い安全性

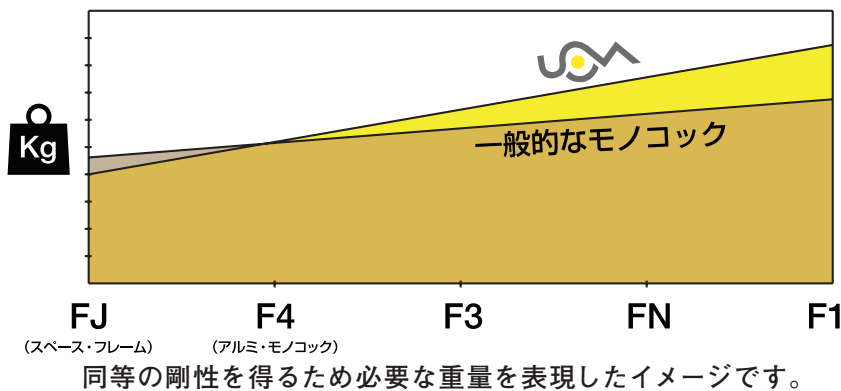
レーシングカーの安全性について絶対はありませんし、さまざまなケースが考えられますが、は、どちらかと言えばF1並みの超高速よりも入門用フォーミュラなどの速度域において安全性を発揮できる構造と言えます。詳しくは、後述する安全性についてのレポートを参照してください。

● 製造に特別なノウハウと技術が必要

まあ、誰にでも作れるのが長所となるかどうかわかりませんが、どこでも作れるという製品ではありません。

● 大型レーシングカーには不向き

FJ、F4クラスまでなら、ハニカム構造のモノコックと比較しても、ほぼ同等の剛性/重量比で作ることができますが、FNクラス以上の高出力レーシングカーになると、同等の剛性を得るためには約15%程度重くなりそうです。将来的に改善の余地はありそうですが、いまのところ小型レーシングカー専用と言うところではあります。





このように、UMAは発明といっても過言ではないほどの画期的な特性を持ったレーシング・パーツですが、これらの製品の開発経験が皆無の日本のレース界では、「アルミ・モノコックより安いカーボン・コンポジット・モノコックなど、ぶつかったら直ぐにばらばらに砕け散る」とか、「安全性が証明されていない」とか、「コストアップにつながる」とか、業界こぞってのピントはずれな拒絶反応が表面化し、どちらかと言えば入門用フォーミュラの世界に光明をもたらす歓迎されるものと思いついて研究を続けていた我々にとっては、落胆の極みというか肩透かしというか、もっと言えば自動車レースそのものに対する興味を失いかねない異常な反応に戸惑っています。


せっかく開発したUMAが、今後、どのような命運をたどるのかわかりませんが、ハニカム構造とソリッド構造では全く異なった物性を持っているので、安全性に関してもハニカム構造の基準をそのまま当てはめることは不適當です。

その為童夢ではソリッド構造に対応した安全性の確認方法を確立するために実験研究を重ねていますので、その現時点での成果を報告させていただきます。

2010年のF4シリーズの始まるころには全てのプログラムが終了しているはずではあります。

JMIA MONOCOQUE の安全性についての研究

 モノコックは、安全性の向上を主目的としつつも、アルミ・モノコックと同等の価格を実現しなければならないという両立の難しい課題も併せ持っておりますが、基本的にはアルミ・モノコックの代替が目的の廉価版ですから、性能的にはカーボン・コンポジット・モノコックと同等と言う訳にはいきません。もし同等ならば、今後、全てのレーシングカーが  モノコックにとって代わるでしょうが、やはり低価格な分、それなりに問題点もありますから、今後も、出来る限りカーボン・コンポジット・モノコックに近い重量/剛性比と安全性を確保できるように研究開発を進めていきたいと考えています。

 モノコックの特性として、プリプレグの巻き数を増やせば剛性は上がりますから剛性（安全性）の確保は難しくありませんが、当然、重量は増すので、要するに、重量/剛性のバランスをどのあたりでとるのかという問題です。



現状では、ざっくりとした表現をするならば、アルミ・モノコックとカーボン・コンポジット・モノコックの中間より少しカーボンよりくらいの安全性と考えており、その数値的根拠を証明すべく実験を繰り返しているところです。


しかし、この両カーボン・モノコック及びアルミ・モノコックは基本的な材料や構造が大きく異なりますから、物性も特性も異なり単純には比較できません。

例えばですが、ハニカム構造の場合、約1~3mmと比較的薄いCFRP板がアルミ・ハニカムをサンドイッチした構造ですから、横から折れたサスペンション・アームや尖がった物体が突っ込んできたら、比較的簡単に穴があいて侵入を許してしまう可能性があります。

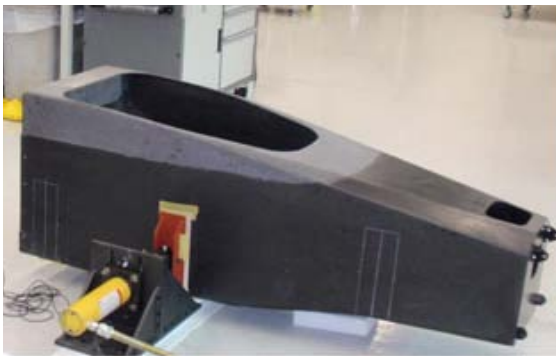
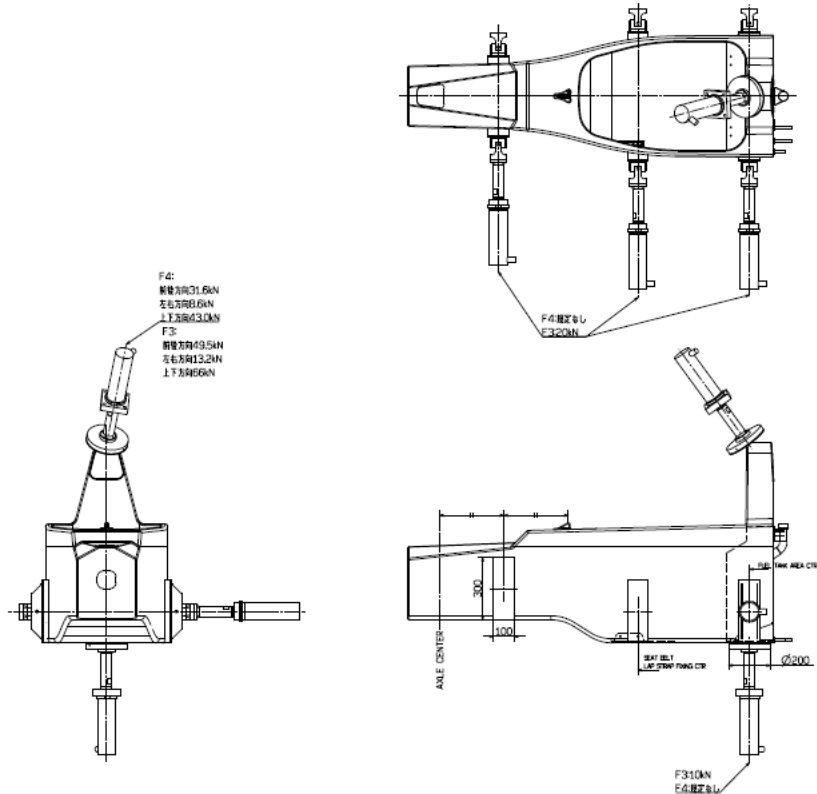
ソリッド構造の場合は5mm~7mmの肉厚の単板ですから簡単には破断しませんが、一方、ハニカム構造の場合、その断面係数の高さから一定の衝撃までは大変形が抑制され、コクピット（生存空間）の形状が保持される傾向にあります。ソリッド構造の場合は衝突の衝撃をもろに受けると、破断せずとも弾性変形が大きいためにコクピットを瞬間的に狭めてしまう可能性も考えられます。

これはほんの一部の例にしか過ぎず、さまざまな物性の違いがありますから、長所短所合わせてそれぞれの特性を明確にし、将来的には、あらゆる面でハニカム構造を超える安全性を確保したいと考えています。

では、まだ研究中の経過報告になりますが、 モノコックの安全性試験の一部をご紹介します。現在、レーシングカーの安全性についての基準としてはFIAによる規定がありますが、これはもちろん、カーボン/ハニカム・モノコックを前提としているために、 モノコックには当てはまらない試験方法が多々採用されています。

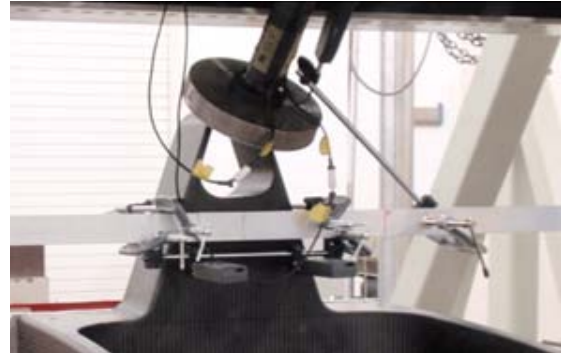
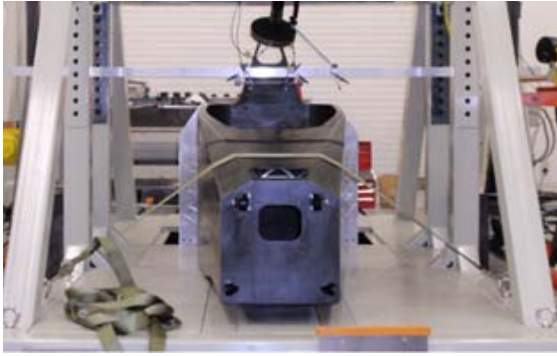
しかし現状、 モノコックの特性も全て把握している訳ではないので、それぞれの特性に合致した安全基準や測定方法を確立するに至っていませんから、当面は、FIAのF3規定に準拠した試験方法を満足することを目標に実験/改良を続けています。

現状、静的試験をほとんど終えたところです。試験方法は、下図のようにモノコックの規定の場所を油圧シリンダーで押して変形を測定しますが、並行してFEMによる剛性分布の解析を行ってデータの蓄積に留意しています。

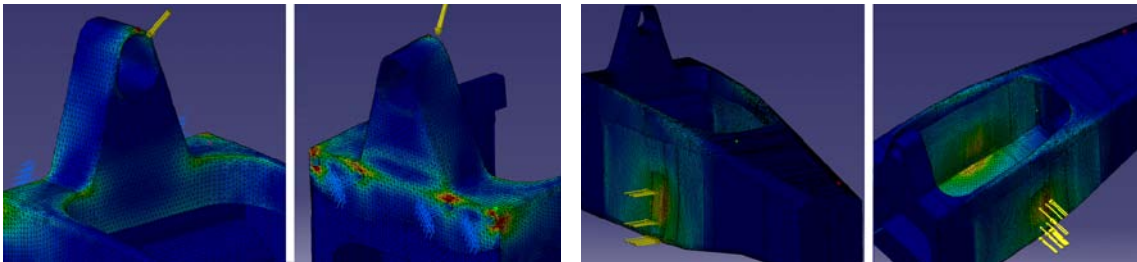


これらの試験はFIAの基準に準拠したモノコックの試験としては一般的な方法で、20KN負荷後、変位が20mm以下とか、荷重の除去後、永久変形が1mm以下とかの細かい基準が定められています。

モノコックは側面が単板なために特にこの試験には不適當ですし、違う種類の安全性を有していますから、モノコックなりの安全基準を構築する必要がありますが、当面の目標として、FIAのF3基準を満足しておく方向で強化/改良を行っています。



同様にロールバーの試験も義務付けられていますが、ここには、実に9.5TONの荷重がかけられますから、当然、つぶれます。そのつぶれ具合が細かく規定されており可否が判断されます。




これらの実物による静的荷重試験に並行してFEMによる解析を進めています。このデータが蓄積していけば、いずれ、静的、動的試験を実施しなくても、CADの中でかなり正確な設計ができるようになるでしょう。



今後は、動的な試験に移行しますが、これも、まだ適した試験方法の確立には至っていないので、従来の方法に準拠して行う予定です。

しかし日本では、これらの試験を行うにも、設備から準備したり海外まで出掛けたりと大変です。これからは、設備や規則の充実に真剣に取り組み、もっと安全性の確立に努力すべきでしょうね。

これらの試験/研究は絶えず続けていくつもりですが、モノコックの安全性については、アルミ・モノコックとの比較も含めて、来春のF4開幕あたりまでに一応の目処を付けておきたいと考えています。

